

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CATANDUVA**

**BRUNO LENARDO CAVALLINI  
CLODOALDO DA SILVA  
LUIZ FERNANDO DIAS DOS SANTOS**

**LANÇADOR DE BOLAS DE TÊNIS DE MESA, UTILIZANDO A PLACA  
ESP-32**

**CATANDUVA/SP  
2025**

**BRUNO LENARDO CAVALLINI  
CLODOALDO DA SILVA  
LUIZ FERNANDO DIAS DOS SANTOS**

**LANÇADOR DE BOLAS DE TÊNIS DE MESA, UTILIZANDO A PLACA  
ESP-32**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de  
Tecnologia de Catanduva para obtenção do grau de  
Tecnólogo em Automação Industrial, sob a orientação do  
Prof. Me. Marcio Henrique Diniz Marques

**CATANDUVA/SP  
2025**

S6778

Cavallini, Bruno Leonardo.

Máquina Lançadora de Bolas de Tênis / Bruno Leonardo Cavallini,  
Luiz Fernando Dias dos Santos, Clodoaldo da Silva – Catanduva: FATEC,  
2024.

Orientador: Prof. Me. Marcio Henrique Diniz Marques.

Trabalho de Graduação (Curso Tecnólogo em Automação Industrial)  
– Faculdade de Tecnologia de Catanduva, 2024.

1. Lançador de Bolas. 2. Lançadora de Bolas. 3. Bolas de Tênis. I.  
Cavallini, Bruno Leonardo. II. Dias dos Santos, Luiz Fernando. III. Da  
Silva, Clodoaldo. IV. Faculdade de Tecnologia de Catanduva. V. Título  
Lançador de Bolas.

**BRUNO LEONARDO CAVALLINI  
LUIZ FERNANDO DIAS DOS SANTOS  
CLODOALDO DA SILVA**

**LANÇADOR DE BOLAS DE TÊNIS DE MESA, UTILIZANDO A PLACA  
ESP-32**

Trabalho de Graduação apresentado à Faculdade de  
Tecnologia de Catanduva para obtenção do grau de  
Tecnólogo em Automação Industrial, sob a orientação do  
Prof. Me. Marcio Henrique Diniz Marques

Aprovação em: 18/06/2025

---

Prof. Me. Marcio Henrique Diniz Marques  
FATEC-Catanduva  
Orientador(a)

---

Prof(a). \_\_\_\_\_  
FATEC-Catanduva  
Avaliador(a)

---

Prof(a). \_\_\_\_\_  
FATEC-Catanduva  
Avaliador(a)

Dedico este trabalho à todos(as) professores,  
familiares e colegas de classe.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao Márcio, Wellington e Tácio, Professores esses que contribuíram para a realização do trabalho.

## RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de **lançador de bolas de tênis de mesa**, visando suprir a carência de equipamentos acessíveis no mercado brasileiro. O estudo direcionou para implementação de funcionalidades essenciais para o treinamento de fundamentos básicos do esporte. Foi desenvolvido um **mecanismo móvel de lançamento por atrito** capaz de gerar **topspin ou backspin**, simulando golpes reais. A alternância manual da posição do cabeçote de lançamento permite ao atleta treinar **forehand e backhand**.

**Palavras-chave:** Tênis de mesa, Automatizado, Robô Lançador, Ping Pong.

## ABSTRACT

This work presents the development of a **table tennis ball launcher prototype**, aiming to address the lack of accessible equipment in the Brazilian market. The study guided the implementation of essential functionalities for training the basic fundamentals of the sport. A **mobile friction-based launching mechanism** was developed, capable of generating **topspin or backspin**, simulating real strokes. Manually alternating the launch head position allows the athlete to train **forehand and backhand**.

**Keywords:** Table Tennis, Automated, Launching Robot, Ping Pong.



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Cronograma do Marcos do Tênis de Mesa .....	12
Tabela 2 – Comparativo de Lançadores no mercado .....	29
Tabela 3 – Levantamento de Custos do Projeto .....	36

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 – Primeiras Mesas e Materiais utilizados em 1891 .....	11
Imagem 2 – Nomes do jogo no decorrer do tempo .....	12
Imagem 3 – Ilustração de Forehand e Backhand.....	17
Imagem 4 – Tipos de Efeitos em ataque .....	18
Imagem 5 – Ponte H Dupla L298N .....	25
Imagem 6 – MicroControlado ESP-32 .....	26
Imagem 7 – Motor Dc 775 12v – 24v 6000-12000rpm - Lançamento.....	26
Imagem 8 – Motor Dc 775 12v – 24v 4000-8000rpm - Seletor.....	27
Imagem 9 – Micro Motor com Redutor DC 3V-6V 208 Rpm 1:48 – Articulador .....	28
Imagem 10 – Visão Frontal e Superior da Estrutura em madeira .....	30
Imagem 11 – Dimensões das peças em madeira (em centímetros).....	30
Imagem 12 – Vista Frontal do tubo de saída do Lançador.....	31
Imagem 13 – Vista Superior do Lançador.....	31
Imagem 14 – Vista da roda emborrachada e delimitador.....	31
Imagem 15 – Vista do Motor Seletor .....	32
Imagem 16 – Fixação do Motor Seletor e Prolongador do Eixo .....	32
Imagem 17 – Vista interna do Sistema Seletor e delimitador .....	32
Imagem 18 – Fixação do tubo lançador e recipiente na estrutura .....	33
Imagem 19 – Acesso do tubo lançador ao recipiente .....	33
Imagem 20 – Vista frontal do protótipo montado .....	33
Imagem 21 – Vista superior da Eletrônica .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS

IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
ESP	Espressif Systems, é o nome da empresa que desenvolveu o ESP32
SSID	Service Set Identifier
WI-FI	Wireless Fidelity
BT	Bluetooth
PWM	Pulse Width Modulation - (Modulação por Largura de Pulso).

## SUMÁRIO

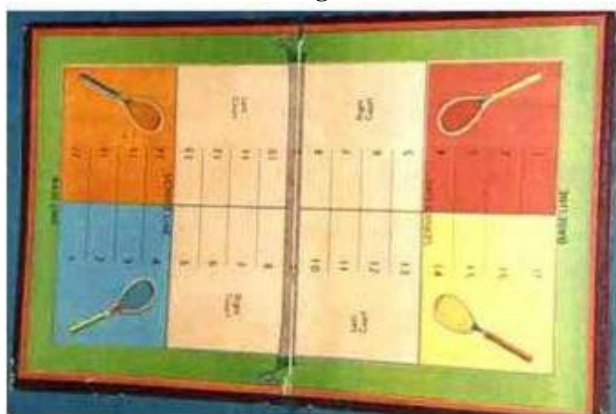
INTRODUÇÃO.....	11
1    FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
1.1    Fundamentos básicos do tênis de mesa .....	20
1.1.1    FOREHAND.....	20
1.1.2    BACKHAND.....	21
1.2    Efeito magnus .....	21
2    CONCEITOS FUNDAMENTAIS PARA O PROTÓTIPO.....	23
2.1    Automação.....	23
2.2    Microcontroladores.....	24
2.3    Programação em C.....	24
3    PESQUISA DE MERCADO .....	28
4    METODOLOGIA.....	30
4.1    Montagem da base de madeira .....	30
4.2    Mecanismo de lançamento por atrito.....	31
4.3    Mecanismo de seletor de bolas para lançamento.....	32
4.4    Protótipo montado .....	33
4.5    Resultados.....	34
4.6    Análise do projeto.....	35
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	38
APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR .....	40

## INTRODUÇÃO

Assim como outros esportes, o tênis de mesa começou como uma simples diversão social. Era provavelmente jogado com equipamento improvisado na Inglaterra, durante o final do século 19. Embora o tênis de mesa tenha evoluído juntamente com o badminton e o ‘tênis de quintal’, o jogo foi de fato desenvolvido após o ‘tênis de quintal’ ter se tornado popular nos anos 1880 (ITTF, 2021)

O jogo passou então por uma série de modificações, uma versão intermediária entre o mais primitivo e o que conhecemos hoje foi inventada pelo famoso criador de jogos Jaques of London em 1891, o jogo era chamado GOSSIMA, tinha uma grande rede no centro da superfície de jogo, 2 raquetes semelhantes às de badminton e uma bola de cortiça (ITTF, 2021).

**Imagem 1 – Primeiras Mesas e Materiais utilizados em 1891**



Primeiro uso do nome de "Table Tennis" ITTF Museu



Jaques (ENG) GOSSIMA de 1891, com a bola de 50mm, 30cm alto net, raquetes de tambor de pergaminho. ITTF Museu

Nenhum desses jogos de ação foram bem sucedidos, devido à ineficácia da bola de borracha, enquanto a bola de cortiça tinha pouca elasticidade, a bola de borracha possuía elasticidade excessiva. Jaques continuou a anunciar Gossima por toda a década de 1890, até 1900, quando a bola de celulóide foi introduzido no jogo, que o conceito do jogo de tênis em uma mesa se tornou bem sucedido. O nome Ping Pong é derivado do som da bola de celulóide quicando sobre o tambor de pergaminho das raquetes cada qual produzia um som um pouco diferente. O som mais agudo sugeriu o nome Ping, e o som mais grave surgiu o nome Pong. Isso ainda pode ser demonstrado hoje usando as raquetes antigas! Jaques mudou o nome de seu jogo de “Gossima ou Ping Pong”. O jogo rapidamente pegou com o público e foi comercializado sob muitos nomes diferentes:

Imagem 2 – Nomes do jogo no decorrer do tempo

**Ping Pong ou Gossima; Ping Pong; Tênis de mesa;  
Waff cheiro; Parlour Tênis; Tennis Indoor;  
Pom-Pom; Pim-Pam; Netto; Real Jogo;  
Tênis de Salão; Dentre outros.**

Fonte: Própria

Aos poucos, os dois nomes mais populares prevaleceram: Ping Pong e Tênis de Mesa. No entanto, esses nomes concorrentes causaram alguns problemas, como duas associações que foram formadas, e com regras diferentes para o jogo, causando algumas confusões. Ping Pong foi registrado em 1900 por Hamley Irmãos na Inglaterra, e logo depois Hamleys tornou-se “preocupado em conjunto” com Jaques. Eles registraram e reforçaram a marca Ping Pong, exigindo uso de sua marca Ping Pong em equipamentos em torneios e clubes. Parker Brothers, que adquiriu os direitos sobre o nome americano de Ping Pong, de forma semelhante aplicada a marca.

Tabela 1 – Cronograma do Marcos do Tênis de Mesa

**Cronograma de Marcos Tênis de mesa com agradecimentos ao falecido Ron Crayden (ENG) e seu livro, A História do Tênis de mesa – Os primeiros 100 anos com atualizações pelo Museu ITTF**

• 1880	Adaptação de tênis para a mesa de jantar com equipamentos improvisados.
• 1890	Diversas patentes registrada na Inglaterra e nos EUA Jogo de ação primeira de tênis em uma tabela: Parlour David Foster Jogos de Mesa, Inglaterra 1890 Conjuntos produzidos sob nomes comerciais como Gossima e Tennis Indoor, com regras Lawn Tennis.

• 1900	Introdução de bolas de celulóide para substituir os de borracha e cortiça. A bola de celulóide tinha o salto perfeito, eo jogo se tornou um enorme sucesso.
• 1901	Associação de Tênis de Mesa e rival Ping Pong Associação formada na Inglaterra; amalgamados em 1903 Primeiros livros sobre o jogo publicado em Inglaterra O jogo é introduzido na China através de assentamentos ocidentais.
• 1904	Fades mania Ping Pong, alguns bolsões de popularidade no leste da Europa continuam.
• 1922	Revival do jogo na Europa, embora as leis variadas Estabelecimento de leis padrão do jogo na Inglaterra.
• 1926	Internacional Table Tennis Federation (ITTF), iniciado em Berlim Primeiro Campeonato Mundial realizado em Londres, Inglaterra. ITTF Constituição aprovada, juntamente com o primeiro conjunto de leis padronizadas. Ivor Montagu (ENG) eleito primeiro presidente.
• 1920 – & Nbsp1950	Era Bat clássico Hard (Dominance Europeia).
• 1926 – & Nbsp1931	Maria Mednyanszky (HUN) vence o Campeonato Mundial cinco vezes consecutivas. Mednyansky ganha 18 medalhas de ouro sobretudo.
• 1930 – & Nbsp1935	Victor Barna (HUN) torna-se cinco vezes campeão do mundo e é vice-campeão 1931 perdendo a final contra seu compatriota Miklos Szabados. Barna ganha um registro de 22 medalhas de ouro em campeonatos mundiais durante sua carreira, 40 medalhas geral.
• 1936	Décimo Campeonato Mundial realizada em Praga, na Tchecoslováquia. O maior rali da história, o primeiro ponto de tomar mais de duas horas.

• 1939	Primeira associação formada continental: América do Sul Campeonato Mundial realizado pela primeira vez fora da Europa: Cairo, Egito.
• 1950 – & Nbsp1955	Angelica Rozeanu-Adelstein (ROU) ganha o Campeonato Mundial seis vezes em uma linha e é a última não asiática a ganhar esse título no feminino simples até hoje.
• 1950 – & Nbsp1970s	Age of Bat Esponja e Tecnologia (Início da Dominance Asian).
• 1952	XIX Campeonato Mundial realizado em Bombay, Índia O primeiro a ser encenado na Ásia e na entrada do Japão à cena internacional Hiroji Satoh (JPN) se tornou o primeiro jogador a vencer um Campeonato do Mundo quando se usa uma raquete coberta com uma esponja grossa e é o vencedor não-primeiro europeu Inauguração da Federação Asiática e Primeiro Campeonato Asiático Federação.
• 1953	China entrou para o Campeonato Mundial pela primeira vez.
• 1954	Ichiro Ogimura (JPN) é o epítome da dominação japonesa com o desenvolvimento tecnológico e treinamento físico.
• 1956	Tomie Okada-Okawa (JPN) é o primeiro jogador do sexo feminino da Ásia para ganhar o Campeonato Mundial e para o reinado Europeu sobre tênis de mesa mundial feminino.
• 1957	Mundo muda campeonato para um ciclo de dois anos.
• 1958	Primeiro Campeonato Europeu, em Budapeste, Hungria. A URSS fez sua entrada na cena internacional
• 1959	Rong Guotuan (CHN) é o primeiro campeão do mundo em qualquer esporte chinês Leis promulgadas padronização Racket.

• 1962	Primeiro All-Africa Championships, Alexandria, Egito.
• 1967	Ivor Montagu se aposentou como presidente da ITTF após 40 anos no cargo.
• 1971	Commonwealth primeiro Campeonato realizado em Cingapura Ping Pong Diplomacia: tênis de mesa teve um papel importante na diplomacia internacional, quando várias equipes foram convidadas para a China para uma série de partidas amistosas após o Campeonato do Mundial de 1971. O premier chinês Zhou Enlai: “A sua visita a China abriu as portas para os mesas tenistas com intercâmbio entre a China e os EUA.”
• 1971	Stellan Bengtsson (SUE) vence o título dos homens solteiros e anuncia o início de três décadas de influência sueca, com jogadores de topo, como Kjell Johansson, Appelgren Mikael, Erik Lindh, Jan-Ove Waldner, Persson Jörgen, e Peter Karlsson.
• 1973	Primeiro Campeonato Mundial Universitário realizada em Hanover, Alemanha.
• 1977	ITTF recebeu declaração formal de seu reconhecimento pelo Comitê Olímpico Internacional (COI).
• 1979	Primeiro Campeonato Europeu de Paraplégicos (jogadores de cadeira de rodas), realizada em Stoke Mandeville, Inglaterra.
• 1980	Primeira Copa do Mundo realizada em Hong Kong.
• 1981	Campeonato Mundial realizado em Nova Sad, Iugoslávia. Triunfo total para a China, cujos atletas vencer todas as sete medalhas de ouro Tênis de mesa admitidos no programa olímpico (84 sessão do COI).
• 1982	Primeiro Mundial de Veteranos Campeonato realizado em Gotemburgo, Suécia Primeiro Campeonato Mundial para deficientes, realizada em Stoke Mandeville, Inglaterra.



• 1985	Campeonato Europeu da Juventude realizada em Haia, Holanda.
• 1988	Para primeira vez, tênis de mesa foi destaque nos Jogos Olímpicos que tiveram lugar em Seul, Coreia do Sul.
• 1992	O ex-campeão mundial, Jan-Ove Waldner (SWE) sagrou-se campeão olímpico de singles e supostamente, o milionário de tênis de mesa.
• 1995	Campeonato Mundial realizado em Tianjin, China. Total de triunfo para a China pela segunda vez, vencendo sete medalhas de ouro.
• 1996	Início do ITTF Pro Tour, com eventos ocorrendo em todo o mundo.
• 2000	Após as Olimpíadas de Sydney, o tamanho da bola é aumentado para 40 milímetros para a televisão (isso melhorou a visualização da bola).
• 2001	Resultado do jogo mudou 21-11 pontos Campeonato Mundial realizado em Osaka, no Japão. Triunfo total para a China, pela terceira vez, vencendo todas as sete medalhas de ouro.
• 2002	Implementação do Mundial Júnior Circuito ITTF (U18) e Cadet World Challenge (U15 competição por equipes continental).
• 2003	Primeira ITTF World Junior Championships, em Santiago, Chile Team Championships separados a partir de eventos individual, realizada em anos alternados.
• 2004	Durante os Jogos Olímpicos de Atenas, Tênis de mesa classificado quinto entre todos os esportes para audiência de televisão.
• 2005	Campeonatos do Mundo realizada em Xangai, China. Triunfo total novamente para a China, vencendo todas as cinco medalhas de ouro.
• 2006	Campeonato Mundial realizado em Bremen, Alemanha. Os atletas chineses completam a coleção com duas medalhas de ouro nos eventos da equipe

• 2007	Campeonato Mundial realizado em Zagreb, Croácia. Número total de cinco triunfo para a China, vencendo todas as cinco medalhas de ouro Primeira aparição de tênis de mesa como esporte obrigatório na Universiade em Bangkok, Tailândia.
• 2008	China varre os campeonatos da equipe em Guangzhou China vence todo o ouro no Jogos Olímpicos de Pequim.
• 2010	Tênis de mesa faz parte dos primeiros Jogos Olímpicos da Juventude.

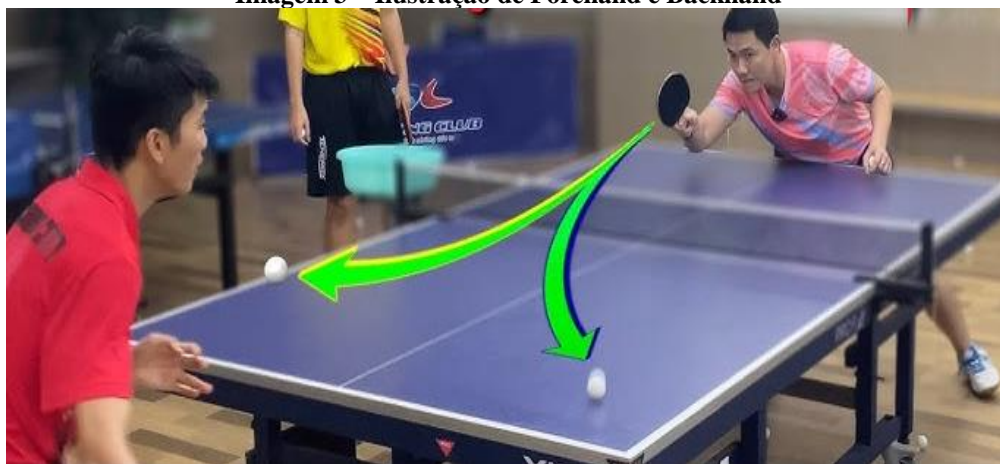
Fonte: Museu ITTF ( <http://www.ittf.com/museum/history.html> )

Atualmente o jogo de tênis de mesa possui relevância internacional, é um esporte olímpico mundialmente praticado por cerca de 300 milhões de pessoas, sendo dessas, 200 milhões apenas na China. No Brasil, a grande popularização do esporte em clubes de recreação, escolas e casas é tida como a responsável por contribuir para esse número.

No jogo moderno, a velocidade e o giro da bola são os principais fatores que ditam as ações durante a partida, para cada tipo de giro há uma ação correta a ser tomada pelo jogador oponente para compensar aquele efeito produzido pelo golpe do adversário.

A alta rotação da bola e a fricção entre a borracha da raquete e a bola intensificam o efeito dessa rotação ao contato, forçando o jogador adversário a ter um posicionamento preciso da raquete para manter a bola em jogo. Ainda no escopo das técnicas, elas são compreendidas em 2 grandes grupos de movimentos: forehand (frente da mão) e backhand (costas da mão).

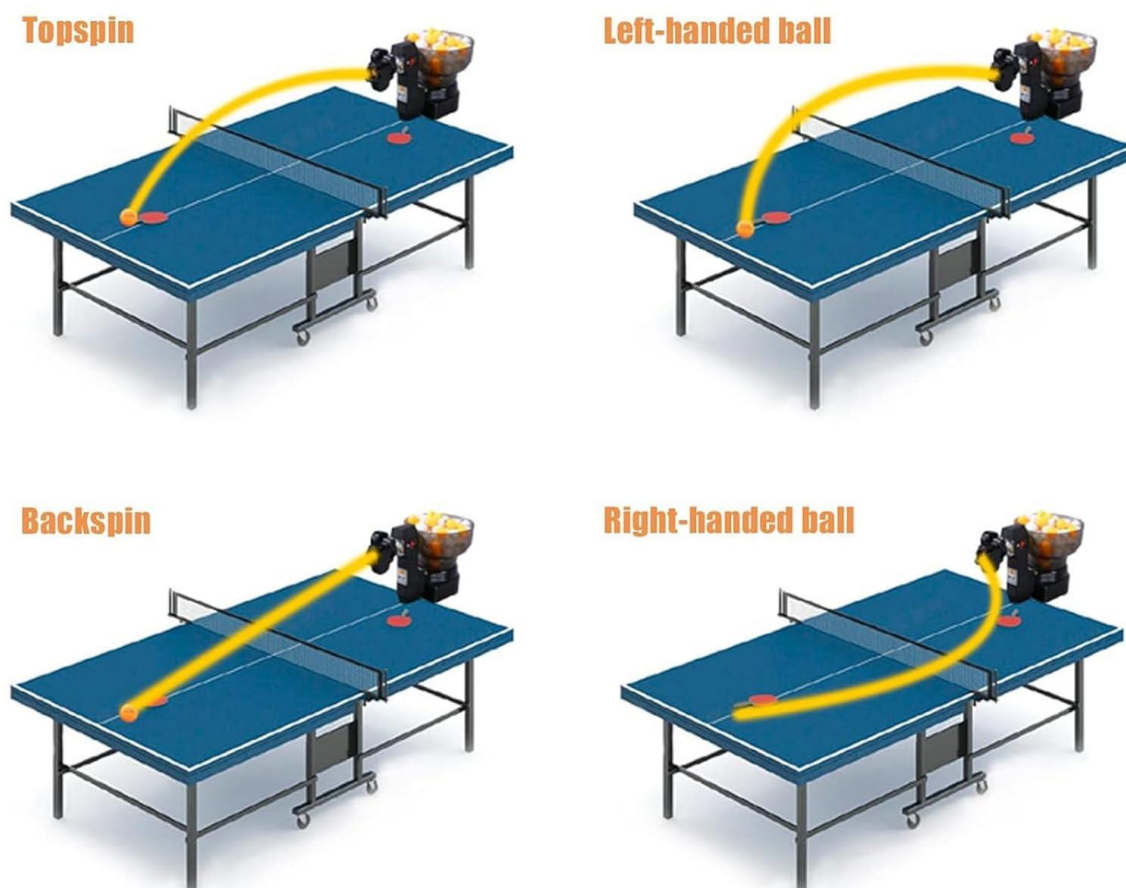
**Imagem 3 – Ilustração de Forehand e Backhand**



Fonte: <https://www.youtube.com/@tilongclub>

Vale lembrar que o tênis de mesa é um esporte muito dinâmico, portanto a movimentação corporal e de pernas ocorre o tempo todo antes e depois da execução das técnicas propriamente ditas. Existem níveis básicos, intermediários e avançados de forehand e backhand para lidar com ambos topspin e backspin (HODGES, 2006).

**Imagem 4 – Tipos de Efeitos em ataque**



Fonte: [https://m.media-amazon.com/images/I/51+SczZbkL.\\_AC\\_US100\\_.jpg](https://m.media-amazon.com/images/I/51+SczZbkL._AC_US100_.jpg)

#### JUSTIFICATIVA

O tênis de mesa exige o aprendizado de técnicas e golpes, e os robôs lançadores são cruciais para o treino individual, permitindo reproduzir jogadas com velocidade e efeito controlados. Contudo, o mercado brasileiro de robôs lançadores tem uma grande lacuna de preços e funcionalidades, com um salto considerável entre modelos básicos (que variam de

R\$180,00 até R\$ 300,00) e avançados (a partir de R\$ 1.700,00), sem opções intermediárias de qualidade e custo x benefício. Essa disparidade limita o acesso de atletas amadores e equipes com recursos limitados.

Nosso projeto visa preencher essa lacuna, desenvolvendo um protótipo de lançador de bolas de tênis de mesa com custo-benefício atrativo. O objetivo é democratizar o acesso a essa tecnologia, possibilitando o aprendizado e aprimoramento das técnicas básicas do esporte para um público mais amplo no Brasil.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

O principal propósito com este projeto é **desenvolver e validar um protótipo funcional de um lançador automático de bolas de tênis de mesa** que se posicione no mercado como uma solução de custo acessível e com funcionalidades intermediárias, preenchendo a lacuna existente e democratizando o acesso a essa tecnologia de treino.

### Objetivos Específicos

Como objetivos específicos temos:

- **Analisar o cenário atual:** Investigar e compreender as diversas soluções de lançadores de bolas de tênis de mesa já disponíveis no mercado, identificando suas características e faixas de preço.
- **Identificar diferenciais:** Avaliar e selecionar as funcionalidades que trariam um valor agregado significativo ao nosso protótipo, destacando-o em relação aos produtos de entrada.
- **Documentar o processo:** Criar uma documentação técnica completa e detalhada que oriente a montagem e o funcionamento do equipamento.
- **Inovar nas abordagens:** Explorar e testar diferentes caminhos para a implementação das funcionalidades desejadas, buscando as soluções mais eficientes e de menor custo.
- **Modelar o conceito:** Realizar a modelagem de um protótipo funcional do lançador, permitindo a visualização e a simulação de seu desempenho.
- **Desenvolver controle remoto:** Criar um aplicativo intuitivo que permita o controle e manuseio do equipamento à distância, otimizando a experiência do usuário.

# 1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para entender as funcionalidades e utilidade do produto, é necessário compreender os fundamentos básicos do tênis de mesa. O projeto visa desenvolver um protótipo funcional de um lançador de baixo custo, com lançamento fixo e alternado de bolas.

O protótipo contém um reservatório de bolas, que são selecionadas uma a uma em por um Sistema de seleção giratório, sendo direcionadas através de um tubo de forma sequenciada. Em uma velocidade controlada no aplicativo, as rotações individuais dos motores DC do Sistema Seletor e também do Lançador que é acoplado em uma roda revestida de borracha, causa o atrito com a bola, faça assim o lançamento desejado.

O lançador possui ainda um **mecanismo oscilador**, responsável por alternar a posição e efeito de lançamento das bolas.

## 1.1 Fundamentos básicos do tênis de mesa

Os fundamentos do tênis de mesa podem ser separados em dois grandes grupos: Forehand e backhand, em cada execução de técnica durante a prática do esporte, de alguma forma o atleta utilizará alguma forma desses fundamentos (HODGES, 2006), nas subseções abaixo há uma descrição melhor de cada um deles.

Os fundamentos do tênis de mesa são essenciais para a prática do esporte e podem ser divididos em dois grupos principais: **forehand e backhand**. Conforme Hodges (2006), cada técnica executada por um atleta envolve, de alguma forma, a aplicação desses fundamentos. As subseções a seguir detalham cada um deles.

### 1.1.1 FOREHAND

A técnica de forehand consiste em todos os movimentos onde o atleta utiliza o lado interno ou palma da mão, é o principal fundamento do jogo para a maioria dos atletas, onde 80% dos pontos são marcados utilizando golpes de forehand. Ainda dentro do forehand, destaca-se o forehand topspin, conhecido também como drive, que pode ser aplicado tanto contra topspin quanto contra backspin (LTT07. 2012).

Ainda segundo Clarke (LTT07... 2012)., destaca-se que essa técnica é executada quando a bola está à direita do jogador destro, o objetivo é produzir, através do contato entre a borracha da raquete e a bola, o giro suficiente para que a bola ganhe o máximo de velocidade e ainda assim toque a mesa do adversário.

### **1.1.2 BACKHAND**

As técnicas de backhand compreendem todos os movimentos onde o atleta utiliza o lado externo ou dorso da mão; são as técnicas usadas para jogadas em que o adversário golpeou a bola no lado da mesa contrário ao forehand (lado esquerdo do jogador destro).

Sendo assim, a ideia é que o jogador se movimente para acertar a bola quando ela estiver próxima ao seu estômago, utilizando um princípio mecânico de chicote para produzir rotação e velocidade no golpe (IO2... 2012). Destaca-se, neste trabalho, o backhand topspin que, semelhante ao forehand topspin, pode ser usado contra o topspin ou o backspin advindos do oponente.

## **1.2 Efeito magnus**

O efeito Magnus é um fenômeno observável comumente associado a um objeto em rotação que se movimenta pelo ar ou outro fluido. A trajetória do objeto é defletida de uma maneira que não ocorre quando o objeto não está girando. A deflexão pode ser explicada pela diferença da pressão do fluido em lados opostos do objeto em rotação, de forma proporcional, a intensidade do efeito depende da velocidade de rotação do objeto (CROSS, 2013).

O caso mais comumente observável do efeito Magnus é o de uma esfera que se curva em arco pelo ar, fazendo um caminho que não faria caso não estivesse girando, o efeito é frequentemente usado por atletas de futebol, boliche, tênis de mesa e outros para alterar de forma conveniente a trajetória da bola.

Por consequência, o estudo do fenômeno é importante para diversos esportes com bola e para algumas aplicações de engenharia como a rotação de mísseis teleguiados e projeto de hélices de navios (AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS, 1959).

No tênis de mesa o topspin é definido como a rotação no eixo horizontal perpendicular à direção de movimento onde a superfície do topo se move no mesmo sentido da translação da bola. Sob o efeito Magnus, o topspin produz um desvio para baixo na trajetória da bola maior do que a gravidade sozinha.

O backspin também é uma rotação no eixo horizontal perpendicular à direção de movimento, porém a superfície do topo da bola se desloca em sentido oposto ao de translação. A bola com backspin tem um desvio para cima em sua trajetória, prolongando o tempo de voo da bola. De forma análoga o sidespin desvia o caminho da bola para as laterais (HODGES, 2006).

## 2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS PARA O PROTÓTIPO

Para o desenvolvimento do lançador de bolas de tênis de mesa, a compreensão de alguns conceitos essenciais da automação industrial e eletrônica embarcada é fundamental. Abordaremos a automação, o microcontrolador e a programação em C, demonstrando como cada um se integra e contribui para o funcionamento do protótipo.

### 2.1 Automação

Automação refere-se ao uso de tecnologias para executar processos ou procedimentos com o mínimo de intervenção humana. Em outras palavras, é a criação e aplicação de tecnologias para monitorar e controlar a produção e entrega de produtos e serviços. Historicamente, a automação visa aumentar a produtividade, melhorar a qualidade, reduzir custos operacionais e otimizar a segurança em ambientes industriais e residenciais. Ela envolve a integração de hardware (como sensores, atuadores e controladores) e software (lógica de programação) para que as máquinas e sistemas possam operar de forma autônoma ou semiautônoma.

**Importância e Aplicação no Protótipo:** No contexto do lançador de bolas, a automação é o pilar que permite que o equipamento opere de forma independente, simulando um adversário humano. É através da automação que o protótipo consegue:

- Lançar bolas sequencialmente: O sistema garante que as bolas sejam alimentadas e disparadas em uma cadência programada.
- Variar a posição de lançamento: O mecanismo de articulação, controlado automaticamente, alterna a direção do lançamento para simular diferentes golpes (forehand e backhand).
- Aplicar efeitos (topspin/backspin): A rotação da roldana de lançamento é posicionada manualmente para induzir o giro desejado na bola, replicando as técnicas do jogo.
- Operação remota: A capacidade de controlar o lançador via aplicativo em um smartphone ou tablet, elimina a necessidade de ajustes de on/off e velocidades manuais no equipamento, tornando o treino mais dinâmico e prático para o atleta.



## 2.2 Microcontroladores

Um microcontrolador é, essencialmente, um "computador em um chip". Ele é um circuito integrado que contém um processador (CPU), memória (RAM e ROM/Flash) e periféricos de entrada/saída (GPIOs, conversores analógico-digitais, interfaces de comunicação como UART, SPI, I2C, Wi-Fi, Bluetooth) em um único encapsulamento. Diferente de um microprocessador (como os de um computador pessoal), que é projetado para propósitos mais gerais, o microcontrolador é otimizado para controlar tarefas específicas em sistemas embarcados. Eles são a "inteligência" por trás de inúmeros dispositivos eletrônicos do dia a dia, desde controles remotos e máquinas de lavar até automóveis e sistemas de automação industrial.

**Importância e Aplicação no Protótipo:** No protótipo, a placa ESP-32 foi o microcontrolador utilizado. Sua escolha é crucial devido a algumas características-chave:

- **Cérebro do Sistema:** O ESP-32 atua como o cérebro que recebe comandos (do aplicativo) e traduz esses comandos em ações físicas.
- **Controle dos Motores:** Ele gerencia a Ponte H, modelo L298N, enviando os sinais corretos para controlar o acionamento e a velocidade de rotação de cada motor DC (Motores do Sistema Lançador, Seletor e Articulador).
- **Conectividade:** As capacidades de Wi-Fi e Bluetooth BLE 4.2 do ESP-32 são vitais para a comunicação sem fio com o aplicativo do smartphone ou tablet. Isso permite que o usuário configure o tipo de lançamento, a frequência e a intensidade do giro do seletor remotamente, adicionando flexibilidade e conveniência ao treinamento.
- **Processamento de Dados:** O ESP-32 processa a lógica de funcionamento, garantindo que o ciclo de lançamento (seleção/alimentação, lançamento da bola e articulação lateral) ocorra de forma sincronizada, conforme desejado.

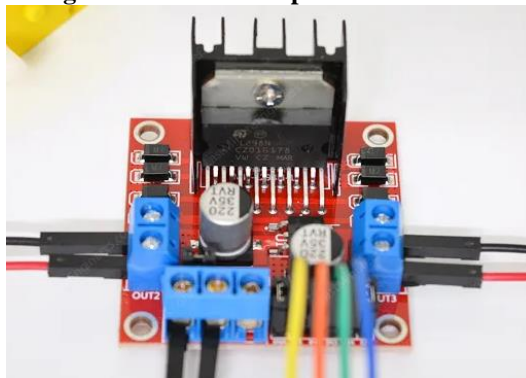
## 2.3 Programação em C

A programação em C é uma linguagem de programação de propósito geral, de alto desempenho e baixa complexidade, amplamente utilizada no desenvolvimento de sistemas embarcados, sistemas operacionais e softwares que necessitam de controle direto sobre o hardware. Caracteriza-se por sua eficiência, portabilidade e pelo controle preciso que oferece sobre os recursos do sistema. Em microcontroladores, a programação em C permite manipular diretamente os pinos de entrada/saída (GPIOs), configurar periféricos (como temporizadores, interfaces de comunicação) e implementar lógicas de controle complexas com alta performance.

**Importância e Aplicação no Protótipo:** Para esse protótipo, a programação em C (que foi utilizada através da IDE do Arduino, que simplifica o desenvolvimento em C/C++ para microcontroladores), é o meio pelo qual foi desenvolvido e carregado o código de programação no ESP-32, dando vida ao protótipo:

- **Definição da Lógica de Operação:** O código em C escrito para o ESP-32 contém as instruções detalhadas de como o lançador deve se comportar. Isso inclui:
- **Controle PWM (Pulse Width Modulation):** Para ajustar a velocidade dos motores do lançador, selector e articulador. O código C define os ciclos de trabalho dos sinais PWM.
- **Sequenciamento:** A lógica para a sequência de seleção/alimentação, articulação e lançamento das bolas foram implementadas em C, garantindo a cadência desejada.
- **Comunicação com o APP:** O código em C do ESP-32 é responsável por configurar o Bluetooth, receber os comandos do aplicativo (por exemplo, "aumentar velocidade do lançador") e acionar as funções correspondentes no hardware.
- **Interação com a Ponte H:** As instruções em C são enviadas aos pinos do ESP-32 conectados à Ponte H L298N para ligar e desligar cada motor, controlando individualmente sua rotação.

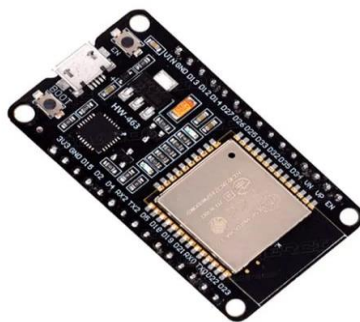
**Imagem 5 – Ponte H Dupla L298N**



Fonte: google.com

Este Driver Ponte H é baseado no chip L298N, construído para controlar cargas indutivas como relés, solenoides, motores DC e motores de passo. Com este Driver Ponte H L298M é possível controlar independentemente a velocidade e rotação de 2 motores DC ou 1 motor de passo. Possui terminais parafusáveis para fácil instalação e buracos nas extremidades da placa para fixação.

**Imagem 6 – MicroControlador ESP-32**



Fonte: Google.com

O módulo ESP32 é um módulo Wi-Fi de alta performance, com um baixíssimo consumo de energia. É uma evolução do ESP8266, com maior poder de processamento e bluetooth BLE 4.2 embutido.

A placa possui o chip ESP32 com antena embutida, uma interface usb-serial e regulador de tensão 3.3V. A programação pode ser feita em diversos software, onde o mais utilizado mundialmente é a IDE do Arduino através de um cabo micro-usb ou usb-c.

Com 4 MB de memória flash, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de IoT, acesso remoto, webserver e dataloggers, entre outros. Nesse Protótipo em questão o ESP-32 está fazendo remotamente a integração e controle de todos os motores do projeto utilizando o recurso Bluetooth.

**Imagem 7 – Motor Dc 775 12v – 24v 6000-12000rpm - Lançamento**



Fonte: Google.com

Para garantir o lançamento efetivo e com alta velocidade das bolas de tênis de mesa, optamos pela utilização inicial de um Motor DC 775 12V-24v 6000-12000 RPM. Este tipo de motor, conhecido por sua alta rotação e robustez, é frequentemente empregado em projetos que exigem desempenho, como máquinas CNC (router), furadeiras (drills) e outras aplicações que demandam um elevado número de rotações por minuto.

No coração do nosso sistema de tração, o Motor DC 775 impulsiona a roldana

emborrachada. Ao girar em alta velocidade, essa roldana cria o atrito necessário com a bola, ejetando-a do lançador com a força e rotação desejadas para simular os golpes de topspin ou backspin.

Um dos grandes diferenciais do nosso protótipo é a capacidade de ajuste da potência do motor de lançamento diretamente pelo aplicativo. Isso significa que a intensidade do arremesso pode ser facilmente configurada pelo usuário, permitindo uma adaptação flexível a motores de igual ou superior potência, sem a necessidade de alterações no APP e Software. Essa característica não só otimiza a experiência de treino, mas também confere escalabilidade e versatilidade ao projeto, tornando-o compatível com futuras melhorias ou diferentes perfis de uso.

**Imagem 8 – Motor Dc 775 12v – 24v 4000-8000rpm - Seletor**



Fonte: Google.com

Para a crucial função de selecionar e alimentar as bolas de forma sequencial na tubo de lançamento, empregamos um Motor DC 775 (12V – 24V, 4000-8000 RPM), conforme ilustrado na Imagem 4. Este motor é responsável por acionar o sistema seletor de bolas, localizado na parte inferior do recipiente de armazenamento.

O motor gira uma base de madeira projetada para não apenas individualizar a saída de cada bola, mas também para impulsioná-las uma a uma em direção ao tubo de lançamento. Esse movimento contínuo e sincronizado garante que as bolas sejam encaminhadas de forma eficiente.

É importante destacar a presença de um sistema de retenção/limitador na tubulação, posicionado estrategicamente antes da roldana de lançamento. Esse mecanismo é fundamental para assegurar que apenas uma bola por vez alcance o ponto de disparo, evitando o empilhamento e garantindo que o lançamento ocorra de forma controlada e precisa, obedecendo rigorosamente à velocidade e cadência definidas pelo motor seletor.

**Imagem 9 – Micro Motor com Redutor DC 3V-6V 208 Rpm 1:48 – Articulador**



Fonte: Google.com

Para o acionamento do mecanismo, que permite o movimento lateral alternado do cabeçote de lançamento — fundamental para simular os golpes de forehand e backhand em diferentes posições da mesa — utilizamos um Micro Motor com Redutor Amarelo DC 3V-6V (208 RPM, 1:48 Reto).

Diferentemente dos motores de alta rotação utilizados no lançamento e seleção de bolas, este micro motor foi escolhido especificamente por sua caixa de redução integrada (relação 48:1). Essa redução é crucial, pois converte a alta velocidade do motor em um torque significativamente maior (800 gf.cm), permitindo que o motor mova o mecanismo articulador com precisão e força suficiente, mesmo em baixa velocidade.

A tensão de alimentação recomendada de 4,5V e a velocidade de até 208 RPM (a 6V) são ideais para controlar a cadência e amplitude do movimento lateral do cabeçador, garantindo que as bolas sejam direcionadas para os pontos desejados na mesa de forma consistente e sincronizada com o ciclo de lançamento.

### **3 PESQUISA DE MERCADO**

Para se ter uma ideia de quais eram as principais concepções de robôs, os modelos e os preços praticados pelo mercado de robôs de tênis de mesa, uma pesquisa de mercado foi feita considerando os principais tipos de modelos vendidos no Brasil, são eles:

Robôs de torre fixa são muito limitados, pois não podem variar o posicionamento do lançamento da bola de forma sequencial e nem alterar o tipo de giro de forma sequencial; para

cada alteração o atleta precisa interagir com o robô e ainda assim a posição de lançamento é fixa. O preço desse tipo de robô está em torno de R\$ 280,00 com autonomia de lançamento de 15 bolas sem reabastecer.

Robôs do tipo torre móvel são esteticamente semelhantes aos de torre fixa e possuem a mesma aparência de funil, entretanto possuem uma mecânica aprimorada e possuem um grau extra de liberdade, a rotação em torno do eixo Z. Além disso, esses robôs possuem maior capacidade de armazenamento de bolas e principalmente, possuem mais opções de programação de rotinas, geralmente, é possível alterar a frequência de lançamento, a rotação da bola e a oscilação (em torno do eixo Z).

A faixa de preço desse modelo é consideravelmente superior aos de torre fixa, em torno de R\$ 1300,00.

Temos os robôs de cabeçote móvel, esses são os mais caros, mais complexos e com maior variação de um fabricante para o outro, são superiores aos demais tipos, tanto construtivamente quanto em número e qualidade de funcionalidades do produto. A principal característica do robô de cabeçote móvel é a variabilidade que o grande número de graus de liberdade possibilita, com robôs desse tipo é possível reproduzir quase qualquer jogada de forma precisa e repetível, também se nota que há um grande investimento dos fabricantes na parte de aplicativos para celular, visto que em quase todos utiliza-se um app para configurar os parâmetros do equipamento à distância. O preço deste tipo de robô pode chegar na casa dos USD 1800,00.

**Tabela 2 – Comparativo de Lançadores no mercado**

		
<b>Mod. Básico</b>	<b>Mod. Intermediário e Avançado</b>	
<b>R\$ 189,47</b>	<b>R\$ 1.729,49</b>	<b>R\$ 2.113,93</b>

**Mercado livre**

**Aliexpress**

Fonte: Própria

4 METODOLOGIA

Nesse t3pico ser3 discorrido sobre a sequ3ncia de etapas e de recursos utilizados para a concep33o e elabora33o desse projeto.

4.1 Montagem da base de madeira

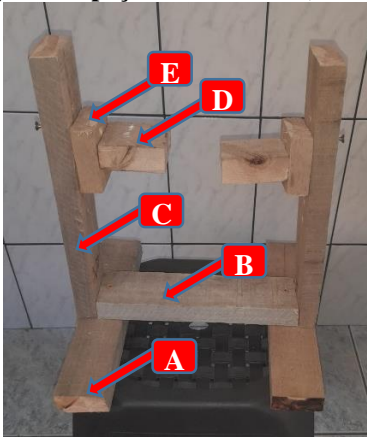
A forma que o rob4o lan3ador possui para se sustentar em p3 3 a base de madeira, onde todos os componentes e mecanismos do lan3ador est3o montados, dessa forma, foi escolhida uma geometria de moldura quadrada com um espa3o no meio para que fosse poss3vel comportar o reservat3rio de bolas na parte superior da base e ainda houvesse espa3o para que n3o ocorram colis3es nas partes m3veis inferiores. Nessa etapa, foram utilizados parafusos de rosca soberba e cabe3a chata, para que n3o houvesse ressalto sobre a superf3cie da madeira

Imagem 10 – Vis3o Frontal e Superior da Estrutura em madeira



Fonte: Pr3pria

Imagem 11 – Dimen3es das pe3as em madeira (em cent3metros)



A – 4,5 x 30,0	B – 4,5 x 30,0	C – 4,5 x 40,0
D – 4,5 x 5,0	E – 4,5 x 5,0	-----

Fonte: Pr3pria

## 4.2 Mecanismo de lançamento por atrito

Seguindo a premissa de que a bola deve ser lançada com alta rotação, foi desenvolvido um mecanismo que faz a bola ser ejetada por atrito, fornecendo à bola velocidade de movimento e rotação ao sair do lançador. O mecanismo consiste em um cano PVC de 50mm de diâmetro interno com um rasgo próximo à saída do cano (dimensões de 3cm/L X 5cm/C – Imagem 15), no qual uma roda de borrachada (dimensões de  $\varnothing 50\text{mm}$  X 2cm/L), que está acoplada ao motor DC, onde ao ser acionado pelo aplicativo, irá girar o motor anti horário, conforme a velocidade de rotação desejada. Motor este que foi fixado em um suporte moldado a quente com o próprio PCV e fixado com parafusos e porcas no tudo de lançamento (Imagem 12).

Ao passar pela roda emborrachada, a bola que tem 40mm de diâmetro fica pressionada entre a parede do cano e a roda (Imagem 12), isso faz com que seja gerado atrito entre a bola e a roda. Desta forma a força aplicada pela roda em alta rotação faz com que a bola seja projetada para frente, com rotação para cima ou para baixo (topspin ou backspin, respectivamente), simulando um golpe executado pelo adversário conforme o planejamento de treino do atleta.

A roda emborrachada posicionada na parte superior ou inferior do cano possibilitam que o praticante alterne manualmente de forma fácil entre o efeito topspin e backspin.

Há também a necessidade da instalação de uma delimitador de bolas, representado (Imagem 14) por uma linha de nylon transparente em um rasgo na tubo de lançamento, posicionado 1 centímetro antes do motor lançador. Esse delimitador trabalha em sincronia com o Sistema Seletor, para que apenas 1 bola por vez sea lançada, pois sem essa delimitação, todas as bolas que já estão no tubo de lançamento seriam lançadas de uma vez, como uma metralhadora.

Na conexão (Imagem 13) do Sistema de Lançamento, podemos observar que se trata do ponto de substituição dos móludos de lançamento fixo e lançamento articulado.

**Imagem 12 – Vista Frontal do tubo de saída do Lançador.**



**Imagem 13 – Vista Superior do Lançador**



**Imagem 14 – Vista da roda emborrachada e delimitador**



Fonte: Própria



### 4.3 Mecanismo de seletor de bolas para lançamento

O recipiente cilíndrico utilizado nesse protótipo, tem a capacidade de armazenamento de 100 bolas. Ele compõe o Sistema Seletor/Alimentador de Bolas para Lançamento. Podemos observar (Imagem 15) a fixação do motor DC na parte externa inferior do recipiente de armazenamento de bolas, e internamente (Imagem 16) o mesmo foi travado utilizando 3 parafusos de fenda próprio do motor. Fizemos uma adequação para travar e prolongar o eixo do motor. Para isso utilizamos uma Chave L, cortamos 1,5cm e fizemos de um lado 1 furo central na Bitola do eixo do motor, com uma furação passante para travamento do mesmo, e na outra extremidade um furação central com rosca para que pudéssemos travar na furação central do disco seletor/alimentador de bolas.

O disco seletor/alimentador de bolas foi confeccionado em madeira 3mm, ficando 1cm acima da base do recipiente e com o diâmetro de 1cm com relação a borda interna do fundo do recipiente.

A furação responsável pela seleção da bola na borda do disco, deverá ter um raio de 60mm com o quinas levemente arredondadas, o que proporcionará a função de projeção da próxima bola, fazendo com que a primeira da fila ultrapasse a linha delimitadora no tudo antes do Motor Lançador, fazendo com que essa seja lançada. Ainda dentro do recipiente, contamos com um delimitador (Imagem 17) que faz a função de evitar um possível travamento do Sistema em decorrência de encavalar bolas no processo de alimentação do tubo lançador.

Já o tubo lançador tem sua base um corte de acordo com o tipo de recipiente utilizado, tendo a finalidade de receber de sequencialmente a bolas selecionadas no disco seletor, proporcionando ao mesmo tempo a projeção das bolas para o lançamento bola após bola. Esse tubo tem sua fixação feita por parafuso Philips para madeira na sua ponta (Imagem 14), sendo travado juntamente com o recipiente e a madeira que fica abaixo.

**Imagem 15 – Vista do Motor Seletor**



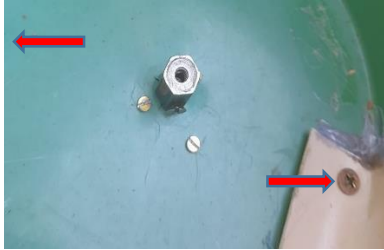
**Imagem 16 – Fixação do Motor Seletor e Prolongador do Eixo**



**Imagem 17 – Vista interna do Sistema Seletor e delimitador**



**Imagem 18 – Fixação do tubo lançador e recipiente na estrutura**



**Imagem 19 – Acesso do tubo lançador ao recipiente**



Fonte: Própria

#### **4.4 Protótipo montado**

Vista frontal do protótipo lançador montado completo, com o módulo fixo de lançamento (Imagem 20).

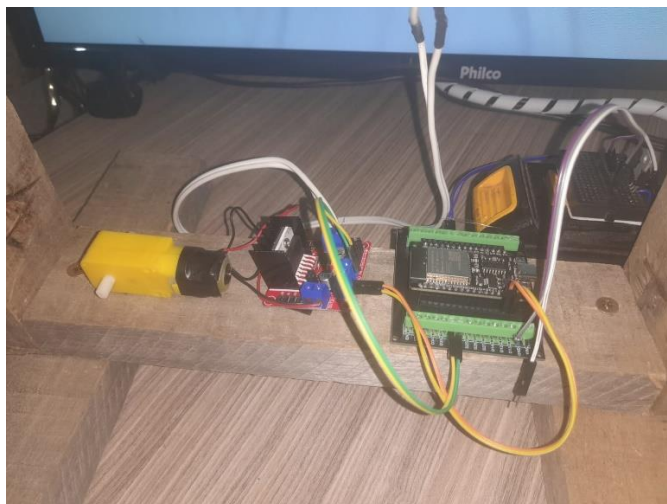
Vista superior do microcontrolado ESP32, módulo L298N, Bateria 20V para alimentação do Sistema e o motor de 6V amarelo que fará articulação do módulo articulado de lançamento (Imagem 21).

**Imagem 20 – Vista frontal do protótipo montado**



Fonte: Própria

**Imagem 21 – Vista superior da Eletrônica**



Fonte: Própria

## 4.5 Resultados

Tinha-se como objetivo o desenvolvimento de um protótipo lançador de bolas de tênis de mesa – utilizando a placa ESP32. Um modelo mais simplificado do mecanismo lançador foi construído fisicamente e validou o princípio de lançamento das bolas, mostrando que é viável seguir com essa ideia de projeto.

Após fazer a modelagem completa do protótipo, também foi possível notar que com a presença de várias peças de geometria complexa, mas de baixa solicitação mecânica, o processo de manufatura aditiva é imprescindível para a fabricação do produto e dessa forma também pode facilitar que hobbystas ou pequenas empresas consigam fabricar as peças do lançador.

É possível concluir que o trabalho teve resultados satisfatórios, pois foi possível verificar que o protótipo funciona, tornando-se um produto funcional.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a construção de um Sistema Automatizado de Realimentação das bolas rebatidas pelo atleta, Implementar o Modo de Treinamento Automático (Através de um botão no app, será ativado o modo automático), onde segundo a código de programação ativará o modo randômico que irá ativar e alterar automaticamente a potências e o on/off dos motores, fazendo assim com que o atleta seja surpreendido com o destino e potência do lançamento. Vale salientar que esse modo somente será possível utilizando o módulo articulado de lançamento para que se tenha o resultado esperado.

Esse Sistema é passível de melhorias e incremento de funcionalidades, pois se trata de um conceito, podendo ser aplicado em diversos esportes.

## 4.6 Análise do projeto

Foram realizados diversos testes no sistema utilizando o aplicativo que desenvolvemos para dar ao usuário mais autonomia. O equipamento tem apresentado uma eficiência, com precisão e rapidez satisfatória. Uma faixa de frequência de lançamento entre 10 e 100 bolas por minuto foi obtida com o disco seletor tendo espaço de seleção para somente 1 bola, sendo possível que se tenha até 4 espaço, quadruplicando esse resultado, aliado a potência do motor.

A estrutura mecânica foi inicialmente testada e alimentando-se diretamente os motores por meio de uma fonte de energia de 20V, com uma aplicação do transistor 7805 fazendo a redução de 20V para 5V para alimentar o microcontrolador ESP32, e encontra-se operando bem, necessitando somente ajustar a inclinação do conjunto lançador, de acordo com o planejamento de treino ou preferência do atleta. Não houveram problemas de folgas e atritos, estando o robô em condições de ser controlado normalmente via aplicativo. Após a conclusão total da etapa de interface e parcial da etapa de programação do microcontrolador, foram realizados diversos testes de controle dos motores. O sistema mecânico do disco seletor apresentou alguns problemas relacionados ao dimensionamento do furo seletor de bola e sua curvatura na quina, fazendo com que as bolas se enroscassem na entrada do tubo lançador, que foram logo solucionados com o redimensionamento do mesmo.

Ambos os circuitos de acionamento dos motores de corrente contínua foram testados nas condições fora da estrutura mecânica e junto à estrutura mecânica. Os resultados foram satisfatórios, operando com velocidades coerentes com o intuito do protótipo, e treinamento do mesatenistas.

O microcontrolador ESP32 está respondendo de forma correta aos comandos selecionados pelo usuário na aplicação desenvolvida utilizando o site appinventor2. Respeitando o padrão de comunicação via biblioteca BluetoothSerial.h, todos os dados são enviados ao microcontrolador a partir do dispositivo móvel devidamente conectado.

Com relação à programação do microcontrolador e APP desenvolvido, foi possível executar o programa com maior rapidez, além de se alterar de imediato, os valores atuais de cada ajuste em %, das potências individuais de cada motor e on/off.


Além da programação e app de controle do robô lançador, o custo final de todo protótipo foi avaliado.

Considerando apenas os materiais utilizados para a construção do Lançador de Bolas,

obtivemos a seguinte estimativa de custo:

**Tabela 3 – Levantamento de Custos do Projeto**

Item	Imagem	Produto	Qtd.	Valor
1		Placa ESP-32	1 unid.	R\$ 50,00
2		Módulo L298N (Ponte H)	2 unid.	R\$ 75,00
3		Celular Android	1 unid.	<b>Usuário</b>
4		Sarrafos de Madeira Pinus Tratado (4,5 x 2,2)	2 metros	R\$ 30,00 (***)
5		Parafuso Philips Rosca Soberda Chip 5 x 50mm 5cm	12 unidades	R\$ 5,00 (***)
6		MOTOR DC 775 12V – 24v 6000-12000RPM	1 unid.	R\$ 170,00
7		MOTOR DC 775 12V – 24v 4000-8000RPM	1 unid.	R\$ 135,00
8		MICRO MOTOR COM REDUTOR DC 3V-6V 208 RPM 1:48	1 unid.	R\$ 15,00
9		Bateria de Lítio 20v Max ou Fonte ATX Nova	1 unid.	R\$ 350,00 ou R\$40,00 (***)

10		Cano de Água de 50mm + 1 emenda 50mm	1 metro	R\$ 15,00 (***)
----	---	--------------------------------------	---------	-----------------

(\*\*\*) Na lista de materiais e custos apresentada acima, alguns itens como parafusos, madeira, cano, entre outros, foram demarcados com (\*\*\*). Essa marcação indica materiais reaproveitados de recursos já existentes em casa, ou adquiridos de outros projetos.

No caso do aparelho celular ou tablet com sistema operacional Android, não estão contabilizados no custo por se tratar de um aparelho de uso pessoal que o usuário/atleta utilizará o aparelho dele para parear e estabelecer a conexão para uso. Bem como o custo da bateria, também poderá ser substituída por uma Fonte ATX, utilizada normalmente para alimentação elétrica de computadores desktop, sendo possível a aquisição de fontes seminovas e novas em estabelecimento de informática entre R\$20,00 e **R\$40,00**, que será o valor que estaremos considerando nesse projeto.

Somando o valores de todos os componentes envolvidos nesse protótipo, o custo de fabricação foi de R\$ 535,00. Levando-se em consideração que os componentes foram comprados em pequenas quantidades. Nossso protótipo, se produzido em larga escala, poderia ter um custo ainda menor do que o estimado e estaria em plenas condições de competir com outros robôs lançadores comercializados hoje, de características semelhantes. Considerando ainda que o protótipo tenha sido construído reaproveitando alguns itens destacados (\*\*\*), que no caso não tivemos custos, porém se retirarmos tais valores do custo final, o projeto seria de R\$485,00, onde o desenvolvimento do código de programação em C para carregado no ESP32, bem como o desenvolvimento do aplicativo não foram contabilizados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desse trabalho foi possível verificar a viabilidade do desenvolvimento de um protótipo lançador de bola de tênis de mesa. Os pontos positivos do protótipo é sua autonomia, dado que não precisa de fonte de energia externa (tomadas) durante sua utilização. Também é possível controlar o protótipo por meio de aplicativo de celular via bluetooth, assim o usuário tem maior autonomia de definir sua estratégia e velocidade do treino. Outro fator positivo do projeto é o grande reservatório de bolinhas com capacidade de 100 bolinhas, que permite ao usuário ter uma duração do tempo de treino maior.

Estaremos fazendo upgrade desse protótipo, tais como o desenvolvendo um **módulo de auto alimentação das bolinhas para o recipiente seletor**, com isso buscaremos extender o treinamento ao máximo, conforme o desejo da equipe/atleta; O protótipo oferece potencial para futuras expansões, como a implementação de lançamentos articulados aleatórios, permitindo que o cabeçote direcione as bolas para posições imprevisíveis na mesa (modo randômico), variando não só a posição do lançador, mas também outros parâmetros do lançamento, aumentando a versatilidade do treino.

O protótipo também pode ser redimensionado para ser aplicado em outros esportes, como tênis, treinamento de goleiro de futebol, handball, vôlei, entre outros.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS. Washington, 26 mar. 1959. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20110516150056/http://webusers.npl.illinois.edu/~a-nathan/pob/Briggs.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021. CROSS, Rod. WINDTUNNEL PHOTOGRAPHS. 2013. Disponível em: <http://www.physics.usyd.edu.au/~cross/TRAJECTORIES/Fluidflow%20Photos.pdf> . Acesso em: 24 fev. 2021.
- HODGES, Larry. Table Tennis: Steps to Success. Champaign,il: Human Kinetics Publishers, 2006. 224 p. ITTF. HistoryofTableTennis. Disponível em: <https://www.ittf.com/history/documents/historyoftabletennis/> . Acesso em: 24 fev. 2021.
- I02 - Backhand Topspin Against Block. Roteiro: William Henzell. [S.I]: Ttedge.Com, 2012. (6 min.), son., color. LTT07 - Learning table tennis part 7 - Forehand Topspin. Roteiro: Brett Clarke. S.I: Ttedge.Com, 2012. (7 min.), son., color. Série LTT. PLEDGE SPORTS (org.). Top 10 most played sports. 2018. Disponível em: <https://www.pledgesports.org/2017/06/top-10-most-played-sports/> . Acesso em: 24 fev. 2021.
- História completa do Tênis de Mesa apresentado pelo Museu da ITTF. (Federação Internacional de Tênis de Mesa) <https://clicktenisdemesablog.wordpress.com/historia-do-tenis-de-mesa/> . Acesso em: 12 dez. 2024.



## APÊNDICE A – PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR

```
//Robô Lançador de Bolas com ajuste de velocidade via PWM

//inclusão de bibliotecas:
#include <BluetoothSerial.h> //biblioteca de bluetooth do ESP32

//definições nomes para pinos (GPIOs):
#define IN1 18 //LANÇADOR
#define IN2 19 //SELETOR
#define IN3 32 //ARTICULADOR

//declaração de instâncias para biblioteca:
BluetoothSerial bluetooth;

//declaração de variáveis:
char comando='P'; //variável tipo caracter
int valor_pwm_lanc=255; //variável tipo inteira (255 => 100% PWM => 100% de
velocidade)
int valor_pwm_selet=200; //variável tipo inteira (255 => 100% PWM => 100% de
velocidade)
int valor_pwm_artic=180; //variável tipo inteira (255 => 100% PWM => 100% de
velocidade)

void setup() { //função de inicialização (configurações)
  //Configuração das GPIOs como saída digital:

  // pinMode(IN1,OUTPUT);
  pinMode(IN1,OUTPUT); //LANÇADOR
  pinMode(IN2,OUTPUT); //SELETOR
  pinMode(IN3,OUTPUT); //ARTICULADOR

  //Configurações de PWM para o ESP32:
```

```

ledcAttachPin(IN1,0); //canal 0 PWM em IN1 (GPIO 18)
ledcSetup(0,500,8); //(CANAL,FREQ PWM, No. BITS PWM) => Canal 0 com
500HZ e 8 bits

```

```

ledcAttachPin(IN2,1); //canal 1 PWM em IN2 (GPIO 19)
ledcSetup(1,500,8); //(CANAL,FREQ PWM, No. BITS PWM) => Canal 1 com
500HZ e 8 bits

```

```

ledcAttachPin(IN3,2); //canal 2 PWM em IN3 (GPIO 32)
ledcSetup(2,500,8); //(CANAL,FREQ PWM, No. BITS PWM) => Canal 2 com
500HZ e 8 bits

```

```

//Configuração de bluetooth:
bluetooth.begin("LANÇADOR"); //inicializa servidor bluetooth com nome
"LANÇADOR"

```

```

} //fim setup

```

```

void loop() { //função de laço infinito (processamento)

```

```

//se algum caracter disponível via bluetooth => comando = caracter lido
if(bluetooth.available()>0) comando=bluetooth.read();

```

```

if(comando=='P') parar(); //se comando igual ao caracter zero executa função de
usário chamada "parar"

```

```

if(comando=='F') lancador(); //se comando igual ao caracter um executa função de
usário chamada "lancador"

```

```

if(comando=='E') seletor(); //se comando igual ao caracter cinco executa função de
usário chamada "seletor"

```

```

if(comando=='D') articulador(); //se comando igual ao caracter três executa função
de usário chamada "articulador"

```

```

if(comando=='X') lancador2(); // parar motor lancador

```

```

    if(comando=='Y') seletor2(); // parar motor seletor
    if(comando=='Z') articulador2(); // parar motor articulador
} //fim loop

//Funções de usuário:
void parar(){
    //Parar todos os Motores
    ledcWrite(0,0);
    ledcWrite(1,0);
    ledcWrite(2,0);
} //fim parar

void lancador(){
    //PMW com valor_pwm => (valor_pwm=127 => vel 50% ; valor_pwm=255 => vel
100%)
    ledcWrite(0,valor_pwm_lanc); //(CANAL PWM, VALOR PWM) => canal 2 com
valor_pwm de PWM
} //fim parado

void lancador2(){ //Parar o Motor Lançador
    ledcWrite(0,0); //(CANAL PWM, VALOR PWM) => canal 0 com 0 de PWM
} //fim lançador2

void seletor(){
    //PMW com valor_pwm => (valor_pwm=127 => vel 50% ; valor_pwm=255 => vel
100%)
    ledcWrite(1,valor_pwm_selet); //(CANAL PWM, VALOR PWM) => canal 0 com
valor_pwm de PWM
} //fim parado

void seletor2(){ //Parar o Motor Lançador
    ledcWrite(1,0); //(CANAL PWM, VALOR PWM) => canal 0 com 0 de PWM
} //fim seletor2

```

```
void articulador(){  
    //PMW com valor_pwm => (valor_pwm=127 => vel 50% ; valor_pwm=255 => vel  
100%)  
    ledcWrite(2,valor_pwm_artic); //(CANAL PWM, VALOR PWM) => canal 0 com  
valor_pwm de PWM  
    }//fim parado  
  
void articulador2(){ //Parar o Motor Lançador  
    ledcWrite(2,0); //(CANAL PWM, VALOR PWM) => canal 0 com 0 de PWM  
    }//fim articulador2
```